

خصوصیات ژئوشیمیایی خاک‌های قرمز رنگ فلات لسی شمال ایران به منظور شناسایی منشا آن‌ها و بازسازی اقلیم گذشته

مهدی طاهری^۱، فرهاد خرمالی^{۲*}، آرش امینی^۳، شین وانگ^۴، فائو چن^۵

- ۱- دکتری علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
- ۲- استاد گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
- ۳- استادیار گروه زمین شناسی، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران
- ۴- استادیار دانشکده علوم زمین و محیط، دانشگاه لائزو کشور چین
- ۵- استاد دانشکده علوم زمین و محیط، دانشگاه لائزو کشور چین

تاریخچه مقاله	چکیده
دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۰۵	<p>خاک‌های قرمز رنگی در زیر برخی از لس‌های شمال کشور وجود دارد که برخلاف لس‌های بالایی، مطالعه چندانی بر روی آن‌ها صورت نگرفته است. در این مطالعه، مقطعی به ارتفاع تقریبی ۱۹ متر در فلات لسی شمال ایران و در شرق استان گلستان مورد بررسی قرار گرفته است. این مقطع قرمز رنگ که در شمال شرقی روستای آق‌بند واقع شده است، بر روی سنگ آهک سازند آق‌چگیل حوزه رسوبی کپه‌داغ، مربوط به اواخر پلاوسین و در زیر لس‌های شناخته‌شده مربوط به اواخر دوره پلیستوسن قرار دارد و بر اساس مطالعات پالئومغناطیس صورت گرفته در فاصله زمانی ۱/۸ تا ۲/۴ میلیون سال قبل تشکیل شده است. در این مقاله خصوصیات ژئوشیمیایی مربوط به خاک‌های قرمز رنگ از منظر عناصر اصلی و نادر مورد بررسی قرار گرفته است و در مقایسه به عمل آمده با خصوصیات ژئوشیمیایی لس‌های بالایی، پوسته بالایی زمین و همچنین خاک‌های قرمز رنگ بادرفتی کشور چین، علاوه بر اثبات بادرفتی بودن این خاک‌های قرمز رنگ، مشخص گردید که انباشتگی رسوبات بادی در فلات لسی ایران از اوایل دوران پلیستوسن آغاز شده است. همچنین پس از بررسی و اثبات یکسان بودن منشا خاک‌های قرمز و لس‌های فوقانی، به منظور بازسازی اقلیم گذشته و کمی نمودن میزان هوادیدگی شیمیایی از شاخص هوادیدگی CIA و نسبت‌های Al_2O_3/Na_2O، MgO/TiO_2، Na_2O/K_2O و Rb/Sr استفاده شد که در نهایت گرم و مرطوب‌تر بودن اقلیم زمان تشکیل خاک‌های قرمز رنگ (اوایل پلیستوسن) را نسبت به زمان تشکیل لس‌های فوقانی (اواخر پلیستوسن) به اثبات رسانید.</p>
پذیرش نهایی: ۱۳۹۶/۰۹/۱۹	
کلمات کلیدی:	
اقلیم گذشته،	
خاک‌های قرمز رنگ،	
ژئوشیمی،	
فلات لسی ایران،	
گلستان	
* عهده دار مکاتبات	
Email: fkhormali@gau.ac.ir	

مقدمه

لس‌ها به تغییرات آب‌وهوایی بسیار حساس هستند؛ بنابراین، توالی‌های لس-پالئوسول به عنوان آرشیهایی برای بازسازی اقلیم گذشته مورد استفاده قرار می‌گیرند (۳۲). بر این اساس توالی‌های لس-پالئوسول شمال ایران نیز، از این قاعده مستثنی نیستند و آرشیه‌های ارزشمندی برای مطالعه اقلیم گذشته می‌باشند (۱۷).

در سالیان گذشته مطالعات زیادی بر روی توالی‌های لس‌پالئوسول شمال کشور که در امتداد دامنه‌های شمالی رشته کوه البرز قرار دارند، صورت گرفته است و تقریباً جنبه‌های مختلف آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. یافته‌های جدید محققان نشان می‌دهد که این لس‌های شناخته شده در اواسط تا اواخر پلیستوسن تشکیل شده‌اند و پالئوسول‌های نسبتاً تکامل یافته و لس‌ها، به ترتیب در دوره‌های بین یخچالی و یخچالی شکل گرفته‌اند (۱۰).

اخیراً خاک‌های قرمز رنگی در برخی از مناطق و در زیر این توالی‌های لس-پالئوسول، و بعضاً به صورت بیرون-زدگی‌هایی در سطح زمین، در شمال کشور و مخصوصاً در شمال شرقی استان گلستان شناخته شده است که هیچ گونه مطالعه‌ای (به‌غیر از مطالعات صورت گرفته توسط محققان این مقاله) بر روی آن‌ها صورت نگرفته است. با توجه به نتایج مطالعات پالئومغناطیس انجام گرفته توسط وانگ و همکاران (۳۳) بر روی این رسوبات و نشان دادن این‌که آن‌ها بسیار قدیمی‌تر از لس‌های شناخته شده شمال کشور هستند (در فاصله زمانی ۱/۸ تا ۲/۴ میلیون سال قبل بر روی هم انباشته شده‌اند)، در نتیجه لزوم مطالعات بیشتر بر روی آن‌ها به شدت احساس می‌شود.

رسوبات بادی، معمولاً از جنبه‌های مختلفی مانند آنالیز اندازه ذرات، میکرومرفولوژی، پذیرفتاری مغناطیسی، نسبت‌های ایزوتوپی، جمع آوری بقایای گرده‌ها و جانوران و خصوصیات ژئوشیمیایی و اندیس‌های هوازدگی شیمیایی، مورد مطالعه قرار می‌گیرند (۷). تاکنون خاک‌های قرمزرنگ فوق‌الذکر از جنبه‌های آنالیز اندازه ذرات (۳۳) و میکرومرفولوژی (۲۸) مورد مطالعه قرار گرفته‌اند که یافته‌های

این مطالعات، بادرستی بودن این رسوبات و حاکم بودن اقلیم گرم و مرطوب‌تر را نسبت به زمان تشکیل لس‌های فوقانی آن‌ها به اثبات رسانیده است. اکنون این مطالعه خاک‌های مذکور را از منظری دیگر، یعنی خصوصیات ژئوشیمیایی مورد آنالیز قرار می‌دهد.

اصولاً در طی هوازدگی و تشکیل خاک از مواد مادری، ترکیب عنصری مواد مادری تغییر می‌کند. در این فرایند عناصر قابل انحلال و متحرک مهاجرت نموده و غلظت آن‌ها کاهش می‌یابد؛ در حالی که عناصری با قابلیت انحلال اندک باقی مانده و غلظت آن‌ها در محیط افزایش می‌یابد. با بررسی نحوه توزیع عناصر در خاک و مواد مادری، می‌توان شدت فرایندهای تشکیل خاک را ارزیابی کرد. شاخص‌های مورد استفاده برای نمایش این توزیع، شاخص‌های هوازدگی ژئوشیمیایی می‌باشند. با استفاده از شاخص‌های ژئوشیمیایی، می‌توان یک توصیف کمی از وضعیت هوازدگی خاک ارائه نمود. نمایش کمی وضعیت هوازدگی، یک مرحله مهم برای تعیین مراحل تکامل خاکها می‌باشد (۸). از این شاخص‌های هوازدگی علاوه بر اندازه‌گیری شدت توسعه و تکامل خاک برای ارزیابی اثرات اقلیم روی هوازدگی و همچنین برای تفسیر تاریخچه هوازدگی رسوبات در مطالعات متعددی استفاده شده است (۲۳). بیش‌تر از ۳۰ شاخص هوازدگی شیمیایی از شروع قرن ۲۰ تاکنون پیشنهاد شده است. شاخص‌های هوازدگی شیمیایی بر اساس ترکیب عناصر اصلی سنگ و خاک بنا شده‌اند. بیش‌تر این شاخص‌ها نسبت‌های مولکولی و درصد وزنی بین گروه‌های متفاوت اکسیدهای اصلی است (۸) فرض اصلی در فرمول کردن این شاخص‌ها رفتار عنصرهای شیمیایی است که به تنهایی به وسیله درجه هوازدگی کنترل می‌شود (۲۳).

با توجه به نتایج تحقیقات به‌عمل آمده، از بین شاخص‌های هوازدگی تعریف شده، پذیرفته شده‌ترین آن‌ها شاخص^۱ (CIA) است که با استفاده از این شاخص به خوبی می‌توان به شرایط هوازدگی فیزیکی و شیمیایی گذشته پی

1- Chemical Index of Alteration

بین ۳ تا ۱۰۰ متر را در حوزه رسوبی کپه داغ به خود اختصاص داده است (۹).

اقلیم کنونی این منطقه، نیمه خشک، با بارندگی متوسط سالیانه ۳۰۰ میلی متر و دمای متوسط سالیانه ۱۷ درجه سانتیگراد است. رژیم رطوبتی خاک رزیک-اردیک و رژیم حرارتی ترمیک می باشد (۲۶ و ۲۷).

نمونه برداری

نمونه برداری، در پاییز سال ۱۳۹۳، بدین نحو انجام گردید که براساس مشاهده‌های صحرایی و خصوصیات مورفولوژیکی، مقطع ۱۹ متری مورد مطالعه به ۲۴ واحد (U1-U24)، به ترتیب از بالای سنگ آهک تا زیر توالی لس های مربوط به دوره پلیستوسن، تقسیم بندی شد و نمونه‌های مورد نیاز از هر کدام از واحدها برداشت گردید و برای آنالیزهای مورد نیاز به آزمایشگاه منتقل شد (شکل ۱).

آنالیزهای ژئوشیمیایی

در ابتدا ۲۴ نمونه برداشت شده از هر کدام از واحدها به همراه نمونه برداشت شده از لس های بالایی خشک گردید. سپس به منظور حذف کربنات کلسیم ثانویه که در طول فرآیندهای خاکسازي بوجود آمده از تیمار اسید استیک به مدت ۱۲ ساعت استفاده شد. این تیمار به نحوی انجام شد که هیچ گونه اثری بر روی سیلیکات ها و اکسیدهای آهن نداشته باشند (۳). پس از شست و شو، نمونه‌ها در آون و در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱۲ ساعت خشک شدند. در نهایت میزان عناصر اصلی (CaO ، Al_2O_3 ، SiO_2 ، Fe_2O_3)، TiO_2 ، Na_2O ، K_2O ، MgO و MnO و نادر (Ba ، Co ، Hf ، Nb ، Pb ، Sr ، Th ، Y و Zr) با استفاده از دستگاه XRF^۱ در آزمایشگاه دانشگاه لائزو کشور چین اندازه گیری شد.

برد(۱). این شاخص به طور موفقیت آمیزی در مطالعات زیادی مورد استفاده قرار گرفته است (۱۶) که با استفاده از فرمول زیر قابل محاسبه می باشد:

$$\text{CIA} = [\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}^* + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} / (\text{Al}_2\text{O}_3)] \times 100 \quad (21)$$

هم چنین نسبت های $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Na}_2\text{O}$ ، $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ ، MgO/TiO_2 و Rb/Sr نیز در مطالعات مختلف مورد استفاده قرار گرفته است (۱۱، ۱۴ و ۲۹).

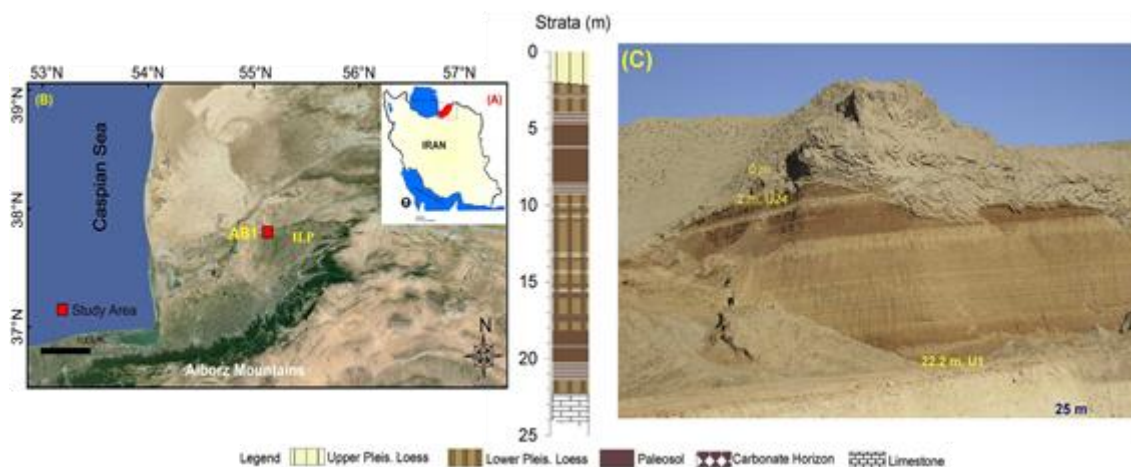
خصوصیات ژئوشیمیایی رسوبات، علاوه بر این که اطلاعات خوبی را در خصوص بازسازی اقلیم گذشته در اختیار قرار می دهد، از این خصوصیات رسوبات می توان در شناسایی نوع آن ها از منظر آبرفتی و بادرفتی بودن و تشخیص منشأ آن ها نیز، استفاده نمود که به عنوان مثال، می توان به تحقیقات دینگ و همکاران (۶، ۷) اشاره نمود.

با توجه به مباحث عنوان شده در فوق، در این مطالعه عناصر اصلی و نادر خاک های قرمز رنگ مقطع آق بند و لس های فوقانی در فلات لسی شمال کشور با هدف بررسی منشأ خاک های قرمز رنگ و بازسازی اقلیم گذشته، با استفاده از شاخص هوادیدگی CIA و نسبت های $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Na}_2\text{O}$ ، $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ ، MgO/TiO_2 و Rb/Sr ، مورد آنالیز قرار گرفته است.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه، مقطعی است به ارتفاع ۱۹ متر در عرض جغرافیایی ۳۷،۶۸۸۸۹ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۵،۱۵۸۳۳۳ درجه شرقی، واقع در شرق استان گلستان و در ابتدای فلات لسی شمال ایران، در شمال شرقی روستای آق بند و مجاور معدن سنگ آهک قرار دارد (شکل ۱). مقطع مورد مطالعه دارای شیب ۵ تا ۱۰ درجه شمال به شمال غربی است.

این مقطع در در زیر توالی لس-پالئوسول مربوط به دوره پلیستوسن و در بالای سنگ آهک سازند آقچگیل مربوط به دوره پلاوسین قرار گرفته است. سازند آقچگیل، عمدتاً از مارن و گل سنگ تشکیل شده است که ضخامتی



شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان گلستان (A,B) و واحدهای مطالعاتی (U1-U24) مقطع آق بند
Figure (1) Golestan Province in northern Iran (A); mosaic of satellite images from Google Earth, including the location of the study section (B); stratigraphy and studied units of the Agh Band lower Pleistocene loess section (units U1 to U24) (C).

$L^* a^* b^*$ CIE به نحوی تعریف شد که: L^* نماینده روشنی و از ۰ تا ۱۰۰ متغیر می‌باشد؛ a^* نشان دهنده ترکیبات قرمز/سبز به طوری که سبز همراه با مقادیر منفی و قرمز به صورت مقادیر مثبت است و b^* نمایانگر ترکیبات آبی/زرد با مقادیر منفی برای آبی و مقادیر مثبت برای رنگ زرد است.

نتایج و بحث

مقطع مورد مطالعه از خاک‌های با رنگ قرمز متمایل به زرد (10YR 6/6) تا قرمز تیره (7.5YR 3/6) تشکیل شده است و همه آن‌ها دارای ندول‌های آهک می‌باشند. قطر این ندول‌ها در خاکهای متکامل به ۲۰ سانتی‌متر و در خاک‌های کمتر تکامل یافته و روشن‌تر کمتر از ۲ سانتی‌متر است. اکسیدهای آهن و منگنز و پوشش رسی به فراوانی در این خاک‌ها دیده می‌شود. ساختمان این خاک‌ها عمدتاً مکعبی زاویه دار و مکعبی بدون زاویه است. آنالیز اندازه ذرات این مقطع نشان می‌دهد که غالبیت با ذرات ریز سیلت می‌باشد که ۸۶/۵ درصد را به خود اختصاص داده است و میزان ذرات رس و شن نیز، به ترتیب ۱۰/۹ و ۲/۶ درصد می‌باشند. این غالبیت سیلت

آنالیز اندازه ذرات

آنالیز اندازه ذرات با استفاده از دستگاه لیزری^۱ در دانشگاه لانژو کشور چین انجام گردید. آماده‌سازی نمونه‌ها بر اساس روش ارائه شده توسط لو و آن (۱۸) بدین نحو صورت پذیرفت که ابتدا ۴ گرم از هر نمونه برداشته شد و برای از بین بردن مواد آلی با ۱۰ میلی‌لیتر آب اکسیژنه ۳۰٪ تیمار گردید؛ سپس برای از بین بردن کربنات آن‌ها از ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۱۰٪ استفاده شد؛ و یون‌های اسیدی با اضافه نمودن ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر و رها نمودن سوسپانسیون به مدت ۱۲ ساعت، قبل از شست‌وشو، حذف گردید. در نهایت، باقیمانده نمونه‌ها با اضافه نمودن ۱۰ میلی‌لیتر هگزامتافسفات سدیم ۵٪ نرمال و استفاده از لرزانگر مافوق صوت پراکنده و آماده اندازه‌گیری شدند.

آنالیز رنگ

هر نمونه هواخشک شده به آرامی و به نحوی که هیچ گوناثری بر روی اندازه ذرات داشته باشند، کوبیده و سپس رنگ آن‌ها توسط دستگاه رنگ سنج^۲ اندازه‌گیری شد. انعکاس رنگ به وسیله فاصله رنگی

1- Malvern Mastersizer 2000

2- Konica-Minolta CM-700 colour meter

در حالت متوسط برای خاک‌های قرمز رنگ در مقابل ۸۲/۲ درصد) بالاتری می باشند؛ در حالی که از مقدار CaO (۳/۳۱ درصد در حالت متوسط برای خاک‌های قرمز رنگ در مقابل ۴۹/۵ درصد) و MgO (۳ درصد در حالت متوسط برای خاک‌های قرمز رنگ در مقابل ۳/۵۵ درصد) کمتری برخوردارند. دلیل این تفاوت شیمیایی را می توان به حل شدن کربنات بیشتر در خاک‌های قرمز رنگ، در اثر بارندگی بیشتر در دوره تشکیل خاک‌های قرمز رنگ، نسبت به دوره تشکیل لس‌های فوقانی نسبت داد که منجر به تشکیل ندول های کربنات بیشتر تر و در نتیجه تکامل افزون تر این خاک ها شده است. کاهش قابل ملاحظه در مقدار CaO، این نظریه را تایید می نماید. در واقع میزان CaO در تمامی واحدهای خاک‌های قرمز رنگ به جز چند واحد که محل تجمع کربنات‌های شسته شده فوقانی است، شدیداً کاهش یافته است (شکل ۲). نتایج این بررسی ها با یافته‌های گالت و همکاران (۱۱) و دینگ و همکاران (۷) که میزان عناصر اصلی پالئوسولها و لس‌ها را مقایسه نمودند مطابقت دارد.

در مقایسه، دیگری که مابین ترکیبات ژئوشیمیایی خاک‌های قرمز رنگ آق‌بند، لس‌ها و پالئوسول فوقانی یک افق Bt انتخاب شده از پالئوسول‌های فلات لسی ایران در منطقه‌ای متفاوت از آق‌بند (۱۹) و همچنین ترکیبات متوسط پوسه فوقانی قاره‌ای به عمل آمد، شباهت بسیار زیادی مشاهده شد (شکل ۲ و ۳). دینگ و همکاران^۲ (۶) و یانگ و همکاران^۳ (۳۵) به منظور بررسی منشأ رسوبات مورد مطالعه خود مطرح کردند که همبستگی زیاد مابین ترکیبات ژئوشیمیایی رسوبات مورد مطالعه و لس‌ها، فرضیه بادرستی بودن آن‌ها را تایید می نماید. در نتیجه شباهت‌های مشاهده شده فوق تاییدیست بر بادرستی بودن خاک‌های قرمز رنگ فلات لسی ایران.

و مشابهت با بافت لس‌های تپیک، می تواند بر بادی بودن این خاک‌های قرمز رنگ دلالت نماید (برای اطلاعات بیشتر تر به مقاله طاهری و همکاران (۲۸) و وانگ و همکاران (۳۳) مراجعه شود).

عناصر اصلی

ترکیبات ژئوشیمیایی اندازه‌گیری شده برای عناصر اصلی خاک‌های قرمز رنگ مقطع آق بند، لس‌های فوقانی آن و پوسه فوقانی قاره‌ای^۱ (۳۰)، برای مقایسه، در شکل شماره ۲ آورده شده است. ترکیبات شیمیایی غالب خاک‌های قرمز رنگ عبارتند از: Al_2O_3 ، SiO_2 ، CaO ، Fe_2O_3 ، MgO ، Na_2O و K_2O . مقدار SiO_2 در نمونه‌های آنالیز شده با میانگین ۶۱/۰۱ درصد، بیشترین فراوانی را در مقایسه با سایر اکسیدهای اصلی نشان می دهد. دومین اکسید از نظر فراوانی Al_2O_3 ، با میانگین تمرکز حدود ۱۵/۱۱ درصد است. افزایش میزان SiO_2 با افزایش میزان Al_2O_3 همراه شده است (شکل ۲) که نشاندهنده حضور فراوان کانی‌های آلومینوسیلیکاته، مانند فلدسپارها و میکاها در خاک‌های قرمز رنگ می باشد. متوسط فراوانی اکسیدهای کلسیم و پتاسیم که معمولاً در ترکیب آلومینوسیلیکات‌ها وجود دارند، به ترتیب ۳/۳۱ و ۳/۷۹ است. از دیگر عناصر اصلی می توان به Fe_2O_3 ۷/۲۶ درصد، MgO ۳ درصد و Na_2O ۷۸ درصد اشاره کرد. مقادیر CaO به طور گسترده‌ای بین ۷ درصد تا ۱۵/۹ درصد متفاوت است و همان‌طور که در شکل ۲ قابل مشاهده است، یک همبستگی منفی را با SiO_2 و Al_2O_3 نشان می دهد (به ترتیب $R^2=0.91$ و $R^2=0.83$).

در مقایسه به عمل آمده مابین خاک‌های قرمز رنگ با لس‌های فوقانی از نظر عناصر اصلی، خاک‌های قرمز رنگ دارای SiO_2 (۶۱/۰۱ درصد در حالت متوسط برای خاک‌های قرمز رنگ در مقابل ۵۸/۳۱ درصد)، Al_2O_3 (۱۵/۱۱ درصد در حالت متوسط برای خاک‌های قرمز رنگ در مقابل ۱۲/۰۹ درصد) و K_2O (۳/۷۹ درصد

2- Ding et al.
3- Yang et al.

1- Upper Continental Crust (UCC)

همبستگی مثبت خوبی بین غلظت K_2O و مقادیر Rb و Ba در خاک‌های قرمز رنگ مشاهده شد (به ترتیب $R^2=0.86$ و $R^2=0.62$) که نشان‌دهنده این است که فراوانی این عناصر نادر به وسیله مقادیر متفاوتی از کانی‌های پتاسیم دار مانند فلدسپار پتاسیم، مسکوویت و ایلابیت کنترل می‌شود.

بررسی یکسان بودن منشا خاک‌ها

بررسی یکسان بودن منشا خاک‌ها و هوادیدگی درجا برای مطالعه شاخص‌های هوادیدگی شیمیایی یک فاکتور مهم و ضروری است (۲۲).

اگرچه مقدار برخی عناصر در فرآیندهای هوادیدگی و آبشویی تغییر می‌کند، اما ترکیب اصلی موادمادری به وسیله خصوصیات محل تشکیل آن‌ها کنترل می‌گردد (۲۵) و مقدار برخی عناصر و هم‌چنین نسبت آن‌ها تغییر چندانی نمی‌کند (۳۰). در نتیجه مقدار برخی عناصر (مانند Mg، Fe، Al، Zr) و نسبت برخی از آن‌ها (به عنوان مثال Nb/Zr، Ti/Al، Ti/Zr) برای ردیابی منشا رسوبات بسیار مناسب می‌باشد (۲۴).

در بررسی‌های صورت گرفته از نظر عناصر و نسبت‌های مذکور و یکنواختی آن‌ها در طول مقطع خاک‌های قرمز رنگ و هم‌چنین یکنواختی آن‌ها در مقایسه با لس‌های فوقانی (شکل ۲)، این نتایج حاصل می‌گردد که نه تنها منشا تمامی خاک‌های قرمز رنگ در کل مقطع یکسان است، بلکه منشا آن‌ها با لس‌های فوقانی نیز یکسان می‌باشد.

بررسی اقلیم گذشته

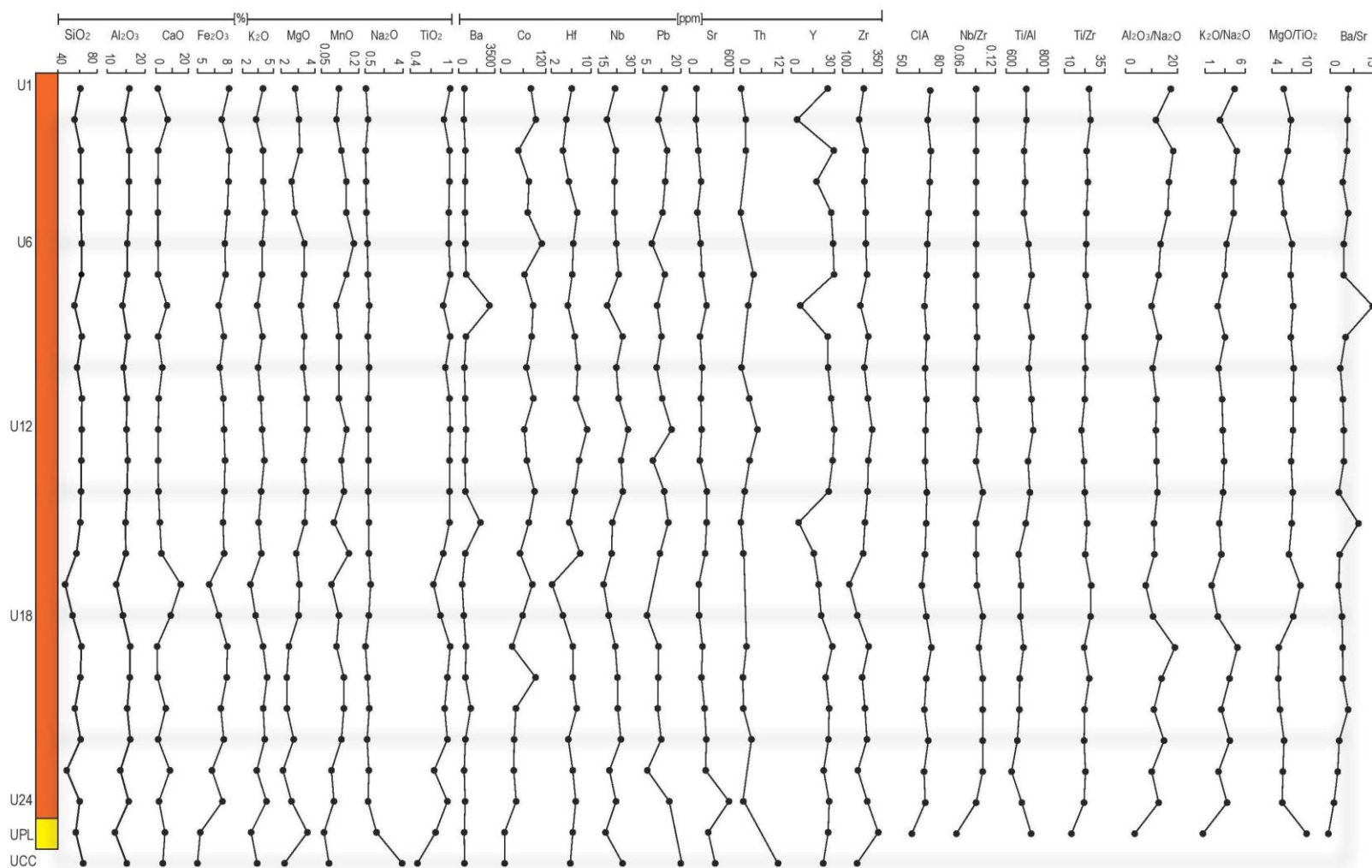
ابزارهای کمی و نیمه کمی مختلفی برای بازسازی اقلیم گذشته در زمان تشکیل رسوبات و خاک‌ها توسعه داده شده‌اند (۷۸). عموماً بر اساس رفتار متفاوت ژئوشیمیایی عناصر اصلی در شرایط مختلف آب و هوایی، نسبت این عناصر به منظور تشخیص اقلیم گذشته مورد استفاده قرار می‌گیرد (۲۹). معمول‌ترین آن‌ها شامل MgO/TiO_2 ، Na_2O/K_2O ، Al_2O_3/Na_2O و شاخص هوادیدگی CIA می‌باشد (۱، ۱۱، ۲۹).

شباهت مشاهده شده با ترکیبات متوسط پوسته فوقانی قاره‌ای، نشان می‌دهد که این رسوبات از مواد پوسته قاره‌ای که در مراحل مختلف به خوبی با هم مخلوط شده‌اند به وجود آمده‌اند. و این از ویژگی‌های اصلی لس‌ها می‌باشد (۱۴).

در کشور چین خاک‌های قرمز رنگی به نام رد کلی^۱ وجود دارد که از منظرهای مختلف با خاک‌های قرمزرنگ فلات لسی ایران مورد مقایسه قرار گرفته است و شباهت‌های بسیار زیادی مابین این دو خاک مشاهده شده است. اما عمده‌ترین تفاوت مشاهده شده در سن این دو خاک می‌باشد که زمان تشکیل خاک‌های قرمزرنگ کشور چین ۲/۴ الی ۲۶ میلیون سال قبل می‌باشد (۱۳). در مطالعات بسیار زیادی که بر روی این خاک‌ها در کشور چین صورت گرفته، بادرقتی بودن آن‌ها در مطالعات گوناگون به اثبات رسیده است (۶، ۷). ترکیبات ژئوشیمیایی یکی از خاک‌های قرمز رنگ مذکور به نام جیاشیان^۲ (۷) با خاک‌های قرمز رنگ مقطع آق بند مورد مقایسه قرار گرفته که شباهت بسیار زیاد مابین آن‌ها تایید دیگری است بر بادرقتی بودن این خاک‌های قرمز رنگ در فلات لسی ایران (شکل ۳).

مقایسه بین میزان متوسط عناصر نادر خاک‌های قرمز رنگ مقطع آق بند، لس‌های فوقانی و مقطع جیاشیان کشور چین در شکل ۳ نشان داده شده است. شباهت موجود مابین عناصر کمیاب این خاک‌ها مجدداً فرضیه بادی بودن منشا خاک‌های قرمز رنگ را پشتیبانی می‌کند (۶). هم‌چنین مابین عناصر نادر خاک‌های قرمز رنگ و پوسته فوقانی قاره‌ای، به جز در خصوص چند عنصر محدود، نیز این شباهت وجود دارد. این شباهت، این مفهوم را که حمل و رسوب‌گذاری لس‌ها یک ترکیب متوسطی از پوسته فوقانی قاره‌ای را مهیا می‌سازد، به شدت تایید می‌کند (۱۲).

1- Red Clay
2- Jiashian



شکل (۲) تغییرات خصوصیات ژئوشیمیایی خاکهای قرمز رنگ مقطع آق بند، لس های فوقانی و پوسته فوقانی قاره ای شامل عناصر اصلی و نادر، نسبت بین آن ها و شاخص هوادیدگی CIA
 Figure (2) Variation of geochemical properties in Agh Band red soils section, upper loess and upper continental crust including major and trace elements, their ratios and CIA index.

این که در شرایط آب و هوایی مرطوب‌تری نسبت به لس-های فوقانی تشکیل شده‌اند، فرآیند هوازدگی شیمیایی فعال‌تر بوده است و در نتیجه نسبت‌های Al_2O_3/Na_2O و K_2O/Na_2O افزایش یافته است (شکل ۲).

با توجه به تحقیقات صورت گرفته توسط تائو و همکاران (۲۹) در کشور چین که با تعریف حدآستانه‌هایی برای مقادیر نسبت‌های Al_2O_3/Na_2O و K_2O/Na_2O اقدام به تخمین میزان بارندگی در اقلیم‌های گذشته نمودند (به ترتیب ۱۲/۲ و ۲ برای میزان بارندگی متوسط سالیانه بیشتر از ۹۰۰ میلی‌متر)، می‌توان نتیجه گرفت که خاک‌های قرمز رنگ در اقلیم مرطوب شکل گرفته‌اند. ذکر این نکته نیز ضروری است که اگرچه تائو و همکاران در مقاله خود پیشنهاد تحقیقات بیشتر و در مناطق مختلف را برای کاربرد این حدود آستانه در تخمین میزان بارندگی اقلیم گذشته مطرح نمودند، و بر اساس این نسبت‌ها نمی‌توان با قطعیت نسبت به میزان بارندگی اقلیم گذشته در کشوری دیگر مانند ایران صحبت کرد، ولی در کل مرطوب‌تر بودن اقلیم در زمان تشکیل خاک‌های قرمز رنگ، با توجه به متوسط مقادیر نسبت Al_2O_3/Na_2O (۱۲/۷) و K_2O/Na_2O (۳/۴۶) در مقایسه با لس‌های فوقانی که به ترتیب ۴/۷۷ و ۱/۲ می‌باشد، پرواضح است.

هم‌چنین در مقایسه‌ای دیگر مابین لس‌های فوقانی و خاک‌های قرمزرنگ از منظر نسبت عناصر اصلی، مقادیر نسبت MgO/TiO_2 در خاک‌های قرمز رنگ در کلیه واحدها با متوسط ۶/۴، کمتر از لس‌های فوقانی با مقدار ۹/۲۶ است (شکل ۲). این نتایج، با نتایج مطالعات گالت و همکاران^۱ (۱۱) و وارگا و همکاران^۲ (۳۱) که در مطالعات خود لس‌ها و پالئوسول‌ها را مورد مقایسه قرار دادند نیز، مطابقت دارد و دلیل آن را به حرکت منیزیم در اثر آبشویی و یا تجمع کربنات‌های ثانویه پس از فرآیند رسوبگذاری که در نتیجه اقلیم مرطوب‌تر است، نسبت دادند.

به طور کلی در نتیجه بارندگی شدید و هوازدگی زیاد، و به علت شسته شدن سریع Na^+ و Ca^{2+} مقادیر Na_2O/K_2O کاهش می‌یابد؛ ولی CIA و نسبت Al_2O_3/Na_2O به دلیل غنی شدن از Al_2O_3 افزایش می‌یابد و بالعکس (۱۵، ۲۹).

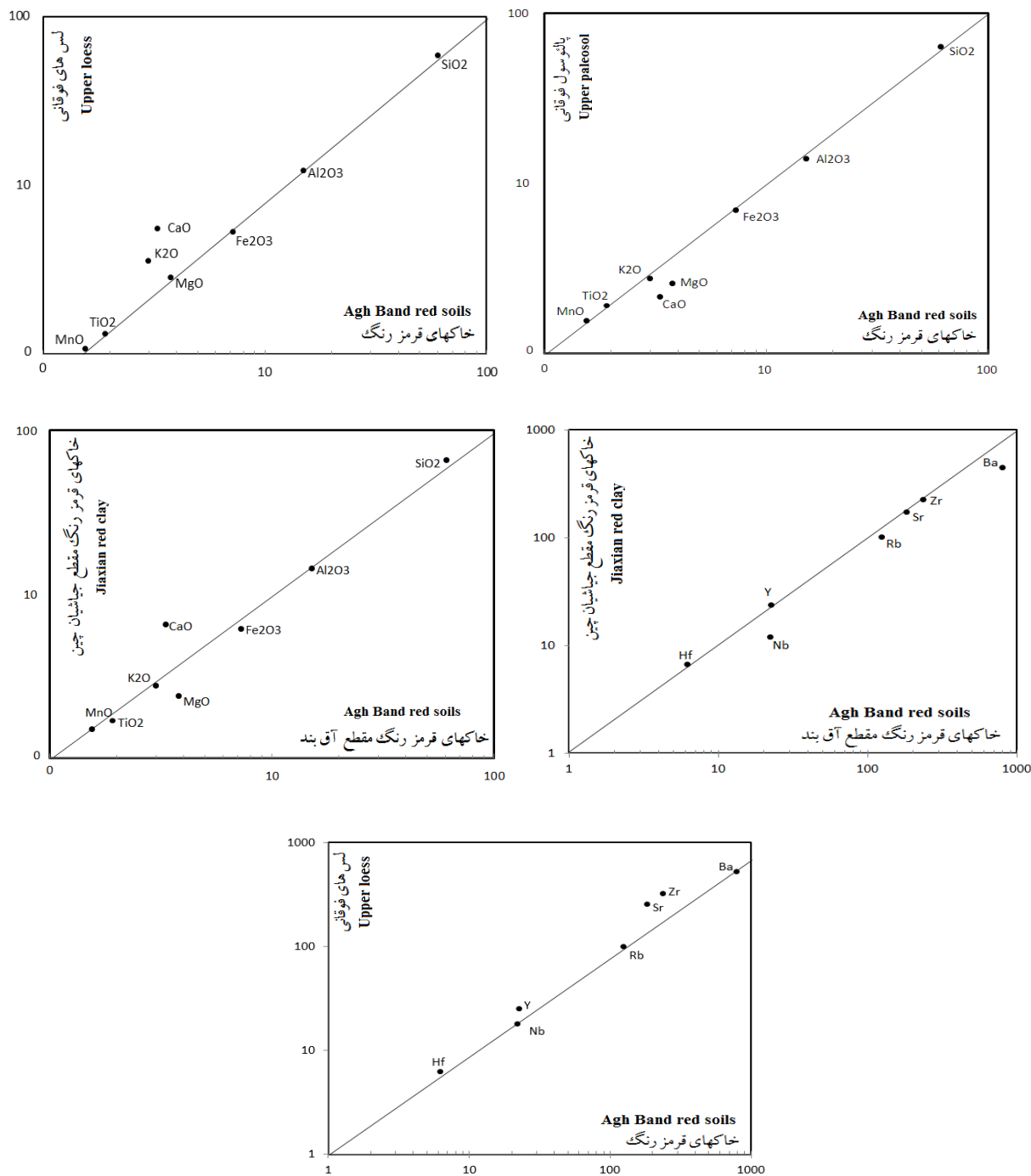
به منظور محاسبه شاخص هوازدگی CIA از فرمول نیسیت و یانگ (۱۹۸۲) (فرمول شماره ۱)، استفاده شده است. در فرمول مذکور فقط نماینده Ca موجود در کانیهای سیلیکاته می‌باشد. بنابراین و با توجه به این که روش‌های تحلیلی استفاده شده در این مطالعه امکان تشخیص CaO کربناته را از CaO سیلیکاته غیر ممکن می‌سازد؛ برای تشخیص آن‌ها از روش مک لینن و همکاران (۲۰)، که بر اساس نسبت‌های منطقی Ca/Na در کانی‌های سیلیکاته بنا نهاده شده، استفاده شده است.

در نتیجه، غلظت CaO بر این اساس محاسبه گردیده است: (۱) اگر غلظت CaO کم‌تر یا مساوی غلظت NaO در نمونه باشد، غلظت CaO در محاسبات دخیل داده شده است (۲) و اگر غلظت CaO بیش‌تر از غلظت NaO در نمونه باشد، فرض بر این گرفته شد که مقدار CaO برابر مقدار NaO است (۲ و ۱۲).

بر اساس محاسبات انجام شده مقادیر CIA در واحدهای خاک‌های قرمز رنگ مقطع آق‌بند با متوسط ۶۹/۶۵ بین ۶۶/۵ تا ۷۲/۸ متغیر است؛ در نتیجه، تمامی واحدهای مذکور دارای مقادیر CIA بیش‌تری نسبت به لس‌های فوقانی می‌باشند. که می‌توان نتیجه گرفت که فرآیندهای خاک‌سازی در خاک‌های قرمز رنگ، در مقایسه با لس‌های فوقانی (به مقدار ۵۹/۸)، بسیار بیش‌تر بوده که در نتیجه‌ی بارندگی بیش‌تر و اقلیم مرطوب‌تر حادث شده است (شکل ۲).

نوسان دو شاخص Al_2O_3/Na_2O و Na_2O/K_2O (با توجه به این که در تمامی نمونه‌ها مقدار K_2O بیش‌تر از Na_2O است؛ در نتیجه برای به دست آوردن اعداد بزرگ‌تر از ۱ از نسبت K_2O/Na_2O استفاده گردید) در خاک‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که خاک‌های قرمز رنگ پایینی به دلیل

1- Gallet et al.
2- Varga et al.



شکل (۳) نمودار مقایسه مابین عناصر اصلی و نادر خاکهای قرمز رنگ مقطع آق بند، لس ها و پالتوسول فوقانی و رد کلی جیاشیان چین

Figure (3) Comparison diagram of major and trace element compositions between Agh Band red soils section, upper loess and paleosol and the Jiashian red clay. Note the good agreement between them.

بیش تر و در نتیجه اقلیم مرطوب تر نسبت به لس‌های فوقانی است (شکل ۲).

نتیجه‌گیری

با توجه به اثبات بادرقتی بودن خاک‌های قرمز رنگ فلات لسی ایران و نظر به اینکه بیشتر لس‌های گزارش شده از آسیای میانی مربوط به بازه زمانی اواسط-اواخر پلیستوسن تا زمان حال می‌باشد (۳۴)؛ در نتیجه این لس‌های قرمز رنگ قدیمی‌ترین رسوبات بادی شناخته شده در غرب آسیای میانی است. حال با توجه به این که شواهد کمی از خشک شدن آسیای میانی باقی مانده است و تحقیقات مربوط به تغییر اقلیم در آسیای میانی، که به عنوان یکی از منابع گرد و غبار در نیمکره شمالی زمین محسوب می‌شود، نسبتاً ضعیف است؛ بنابراین فلات لسی ایران که در عرض‌های میانی جغرافیایی منطقه خشک آسیا قرار دارد، یک منطقه کلیدی برای درک تاریخچه خشک شدن آسیا و هم‌چنین مکانیسم ایجاد آن می‌باشد و این لس‌های قرمز رنگ زمینه مطالعات بیش تر را در این زمینه فراهم می‌نماید.

یکی دیگر از نسبت‌هایی که برای بررسی شدت هوادیدگی لس‌ها، از منظر عناصر نادر، مورد استفاده قرار می‌گیرد، نسبت Rb/Sr است (۱۴). Rb به دلیل این که معمولاً در کانی‌های پتاسیم‌دار تثبیت می‌شود در نتیجه در طول فرآیند هوادیدگی شیمیایی نسبتاً پایدار می‌ماند و یک عنصر غیر متحرک قلمداد می‌شود. در مقابل Sr از نظر شیمیایی بسیار واکنش‌پذیر می‌باشد و در طول فرآیندهای خاک‌سازی و به دلیل ازدست رفتن کربنات کلسیم و سایر کانی‌های حاوی کلسیم، به سرعت شست‌و شو می‌یابد (۵).

در نتیجه و بدلیل تفاوت سیالیت این دو عنصر نادر در طول فرآیندهای هوادیدگی شیمیایی، مقدار عنصر Rb در خاک افزایش می‌یابد و عنصر Sr در خاک کاهش می‌یابد (۵). از آنجایی که فرآیندهایی آبشویی در طول پروسه‌های خاک‌سازی عمدتاً به متوسط بارندگی منطقه بستگی دارد، در از این رو نسبت Rb/Sr به میزان بارندگی اقلیم گذشته وابسته می‌باشد (۴). بررسی‌های انجام شده در مقطع آق‌بند نشان می‌دهد که نسبت Rb/Sr در لس‌های قرمزرنگ بیش تر از لس‌های فوقانی می‌باشد که این موضوع نشان‌دهنده هوادیدگی شیمیایی

منابع

1. Bahlburg, H., and Dobrzinski, N. 2009. A review of the Chemical Index of Alteration (CIA) and its application to the study of Neoproterozoic glacial deposits and climate transitions. The Geological Record of Neoproterozoic Glaciations. Geological Society, London, Memoir.
2. Bock, B., McLennan, S.M., and Hanson, G.N. 1998. Geochemistry and provenance of the Middle Ordovician Austin Glen Member (Normanskill Formation) and the Taconian Orogeny in New England. *Sedimentology*, 45: 635–655.
3. Chen, J., Wang, H. T. and Lu, H. Y. 1996. Behaviors of REE and other trace elements during pedological weathering-evidence from chemical leaching of loess and paleosol from the Luochuan section in central China. *Acta Geologica Sinica*, 70: 61-72.

4. Chen, Y., Chen, J., and Liu, L.W. 2001. Chemical composition and characterization of chemical weathering of late tertiary red clay in Xifeng, Gansu province. *Journal of Geomechanics*, 7 (2): 167-175 (in Chinese).
5. Dasch, E. J. 1969. Strontium isotopes in weathering profiles, deep-sea sediments and sedimentary rocks. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 33: 1521-1552.
6. Ding, Z. L., Sun, J. M., Liu, T. S., Zhu, R. X., Yang, S. L., and Guo, B. 1998. Wind-blown origin of the Pliocene red clay formation in the Chinese Loess Plateau. *Earth and Planetary Science Letters*, 161: 135-143.
7. Ding, Z.L., Sun, J.M., Yang, S.L. and Liu, T.S. 2001. Geochemistry of the Pliocene red clay formation in the Chinese Loess Plateau and implications for its origin, source provenance and paleoclimate change. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 65(6):901-913.
8. Duzgoren-Aydin N. S., Aydin, A., and Malpas, J. 2002. Re-assessment of chemical weathering indices: case study on pyroclastic rocks of Hong Kong. *Engineering Geology*, 63(1-2): 99-119.
9. Forte, A.M., and Cowgill, E. 2013. Late Cenozoic base-level variations of the Caspian Sea: a review of its history and proposed driving mechanisms. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 386: 392-407.
10. Frechen, M., Kehl, M., Rolf, C., Sarvati, R., and Skowronek, A. 2009. Loess chronology of the Caspian lowland in northern Iran. *Quaternary International*, 198: 220-233.
11. Gallet, S., Jahn, B., and Torii, M. 1996. Geochemical characterization of the Luochuan loess-paleosol sequence, China, and paleoclimatic implications. *Chemical Geology*, 133: 67-88.
12. Gallet, S., Jahn, B., Van Vliet Lanoe", B., Dia, A., and Rosello, E. 1998. Loess geochemistry and its implications for particle origin and composition of the upper continental crust. *Earth and Planetary Science Letters*, 156: 157-172.
13. Guo, Z., Ruddiman, W.F., Hao, Q.Z., Wu, H.B., Qiao, Y.S., Zhu, R.X., Peng, S.Z., Wei, J.J., Yuan, B.Y., and Liu, T.S. 2002. Onset of Asian desertification by 22 Myr ago inferred from loess deposits in China. *Nature*, 416: 159-163.
14. Jahn, B., Gallet, S., and Han, J. 2001. Geochemistry of the Xining, Xifeng and Jixian sections, Loess Plateau of China: eolian dust provenance and paleosol evolution during the last 140 ka. *Chemical Geology*, 178: 71-94.
15. Ji, H.B., Ouyang, Z.Y., and Wang, S.J. 2000. Element geochemistry of weathering profile of dolomite and its implications for the average chemical composition of the upper-continental crust, case studies from the Xinpu profile, northern Guizhou Province, China. *Science in China, Series D: Earth Sciences*, 43: 23- 35.

16. Kahmann, J.A., Seaman, J., and Driese, S.G. 2008. Evaluating trace elements as paleoclimate indicators: multivariate statistical analysis of Late Mississippian Pennington Formation paleosols, Kentucky, U.S.A. *Journal of Geology*, 116: 254-268.
17. Lauer, T., Frechen, M., Vlaminc, S., Kehl, M., Lehndorff, E., Shahriari, A., and Khormali, F. 2016. Luminescence-chronology of the loess palaeosol sequence Toshan, Northern Iran-A highly resolved climate archive for the last glacial-interglacial cycle. *Quaternary International*,
18. Lu, H. Y. and An, Z. S. 1997. Experimental study on the influence of different pretreatment procedures on the particle-size measurement of loess sediments. *Chinese Science Bulletin*, 42: 2535-2538.
19. Mahmoudi, M;. 2012. Genesis, classification and properties of soils formed in different parent materials in Golestan Province. Master thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.
20. McLennan, S.M., Hemming, S., McDaniel, D.K., and Hanson, G.N. 1993. Geochemical Approaches to Sedimentation, Provenance and Tectonics. In: Johnsson, M.J., Basu, A. (Eds.), *Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments*, Geological Society of America Special Paper, 284: pp. 21-40.
21. Nesbitt, H.W., and Young, G.M. 1989. Formation and diagenesis of weathering profiles. *The Journal of Geology*, 97 (2): 129-147.
22. Oh N.H., and Richter D.D. 2005. Elemental translocation and loss from three highly weathered soil-bedrock profiles in the southeastern United States. *Geoderma*, 126(1-2): 5-25.
23. Price J. R. and M.A. Velbel. 2003. Chemical weathering indices applied to weathering profiles developed on heterogeneous felsic metamorphic parent rocks. *Chemical Geology*, 202(3-4): 397-416.
24. Qingyu, G., Baotian, P., Hongshan, G., Na, L., Hui, Z. and Junping, W. 2008. Geochemical evidence of the Chinese loess provenance during the Late Pleistocene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 270(1): 53-58.
25. Rollinson, H.R. 1993. *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*. Longman Scientific, Technical Press, London.
26. Soil Survey Staff. 2014. *Keys to Soil Taxonomy*, twelfth ed. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
27. SWRI-Soil and Water Research Institute of Iran. 2000. *Soil Resources and Use Potentiality Map of Iran (1:1 000 000)*, Tehran.
28. Taheri, M., Khormali, F., Wang, X., Amini, A., Wei, H., Kehl, M., Frechen, M. and Chen, F. 2016. Micromorphology of the lower Pleistocene loess in the Iranian Loess Plateau and its paleoclimatic implications. *Quaternary International*.

29. Tao, J., Chen, M.T., and Xu, S. 2006. A Holocene environmental record from the southern Yangtze River delta, eastern China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 230(3): 204-229.
30. Taylor, S.R., and McLennan, S.M. 1985. *The Continental Crust: its Composition and Evolution. An Examination of the Geochemical Record Preserved in Sedimentary Rocks*. Black well Scientific Publication, Oxford London.
31. Varga, A., Újvári, G., and Raucsik, B. 2011. Tectonic versus climatic control on the evolution of a loess–paleosol sequence at Beremend, Hungary: an integrated approach based on paleoecological, clay mineralogical, and geochemical data. *Quaternary International*, 240(1):71-86.
32. Wacha, L., Pavlakovic, S.M., Frechen, M., and Crnjakovic, M. 2011. The loess chronology of the Island of Susak, Croatia. *Quaternary Science Journal*, 60: 153-169.
33. Wang, X., Wei, H.T., Taheri, M., Khormali, F., Danukalova, G., and Chen, F.H. 2016. Early Pleistocene climate in western arid central Asia inferred from loess palaeosol sequences. *Scientific Reports*, 6: 20560. <http://dx.doi.org/10.1038/srep20560>.
34. Yang, S. L., Ding, F., and Ding, Z. L. 2006. Pleistocene chemical weathering history of Asian arid and semi-arid regions recorded in loess deposits of China and Tajikistan. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 70: 1695-1709.
- 35- Yang, S.Y., Li, C.X., Yang, D.Y., and Li, X.S. 2004. Chemical weathering of the loess deposits in the lower Changjiang Valley China, and paleoclimatic implications. *Quaternary International*, 117: 27-34.